

전자기 펄스 용접용 전자기 코일 기술

김 성 욱

大韓熔接·接合學會誌 第27卷 第3號 別冊

2009. 6

전자기 펄스 용접용 전자기 코일 기술

김성욱

Working Coil Technology of Electro-magnetic Pulse Welding

Sungwook Kim

1. 서론

고전압·대전류 펄스파워 기술은 종래의 고전압·대전류 공학을 기초로 하여 콘덴서, 인덕터 등에 저장된 초기 전자 에너지를 수ns~수ms의 짧은 시간 안에 고출력을 발생시켜 좁은 공간에 에너지를 집중 공급하는 기술이다. 펄스파워 기술의 시작은 1940년 핵융합 연구에서 시작되어 현재는 전자기펄스 성형/용접 장치를 비롯하여 산업 및 화학공정에서 발생하는 폐기물 처리, 화력발전소나 보일러와 같은 산업설비에서 배출되는 배연가스처리 장치, 먼지 및 냄새제거를 위한 공기청정장치, 식품살균처리장치, 총탄보다도 강력한 레일건 등의 개발에 이용되고 있으며, 최근에는 이 기술이 차세대 핵항모의 전투기 이륙 시스템에도 활용될 예정이다¹⁾.

전자기 펄스 용접장치는 크게 펄스파워를 발생시키기 위한 펄스전원과 전자기장을 발생시켜 가공물을 가공하는 전자기 코일로 구성된다. 전자기 코일은 Lorentz 힘의 변환에 의해 전류의 흐름을 자기장으로 변환시키며, Faraday 법칙에 의한 코일과 내부 가공물과의 유도전류를 발생시킴으로써 에너지를 전달하는 중요한 구성 부품이다²⁾.

본 기술 강좌에서는 전자기 펄스 용접에 적용되는 전자기 코일에 대하여 형상 및 최근 개발 동향에 대하여 기술하고자 한다.

2. 전자기 코일 기술

전자기 펄스 용접에 활용되는 전자기 코일에 대한 기본 개념은 1961년 G.W.Harvey의 미국특허 제 2976907호 'metal forming device and method'에 잘 나타나 있다³⁾. 이 특허는 Fig. 1에서와 같이 파이프의 확관 및 축관에 적용할 수 있는 내부 및 외부 원형 코일과 판재의 성형에 적용할 수 있는 팬케익 형태의 코일에 대하여 규정하고 있다.

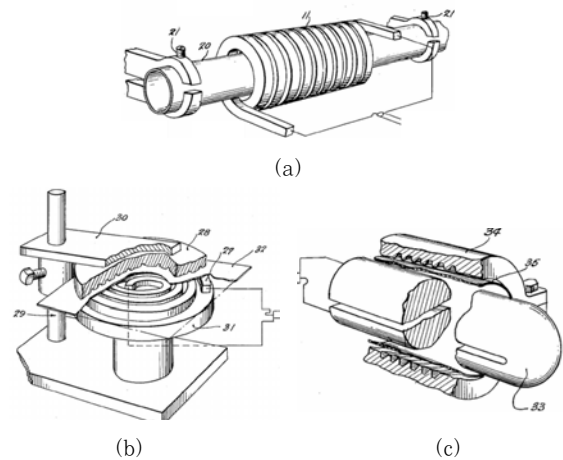


Fig. 1 Electro-magnetic pulse metal forming device³⁾ (a) External coil (b) pan cake coil (c) Internal coil

현재까지 적용되고 있는 대부분의 전자기 코일은 이 형태의 코일을 기본으로 하고 있으며, 가공품의 형상에 따라 사속집중기를 이용하여 자기력을 집중시키는 구조로 적용되고 있다.

고효율의 전자기 코일을 제작하기 위해서는 여러 가지 요인이 고려되어야 하지만 기본적인 인자는 치수형상, 전기적 특성 및 기계적 특성이라 할 수 있다.

치수형상은 가공물의 종류와 크기에 의해 결정되며, 취급의 편의 상 가공물과 전자기 코일 간의 간격은 0.64~0.76mm 정도가 적당하다. 전기적 특성으로는 대전류 충격에 의한 저항손실에 의한 효율 저하와 온도 상승에 의한 손상을 줄이기 위해 고유저항이 낮아야 하며, 필요에 따라 공냉이나 수냉을 실시한다. 한편, 전자기 코일과 가공품 간 상호 충격 반작용에 의한 전자기 코일의 손상이 발생될 수 있으므로, 충분한 기계적 강도와 질량을 가질 필요가 있으며, 이에 베릴륨동 및 알루미늄 합금이 주로 사용된다²⁾.

외부 원형 코일은 가공품 내부에 삽입되는 구조로 적

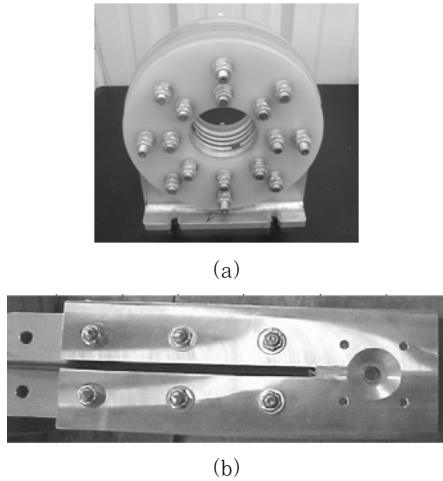


Fig. 2 External compression coil (a) Bitter coil (b) Mono-wind coil

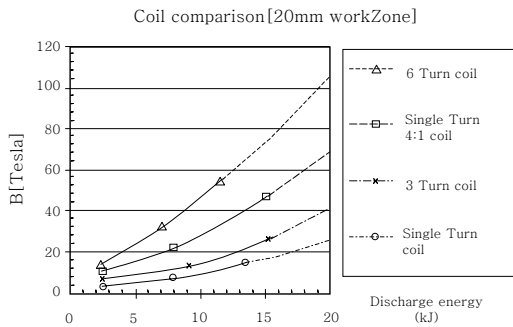


Fig. 3 Distribution of magnetic field power in the axial direction as function of coil type and bank energy⁴⁾

용되며, 형상에 따라 Fig. 2에서와 같이 wound type, housed coil, Bitter-type coil, Mono-wind coil 등으로 분류한다.

Fig. 3은 전자기 펄스 공정에 필요한 몇 가지 코일에 대하여 20mm 가공영역에 대한 최대 자속의 기준으로 전자기 코일의 효율을 비교한 것이다⁴⁾.

자기장과 전류를 측정할 결과 그래프는 같은 에너지를 기준으로 자기집속기를 가진 bitter 코일이 가장 높은 자기장을 가진다는 것을 보여준다.

실질적인 코일의 선택은 전자기 코일과 시험재의 상호 영향 측정 및 펄스 진폭과 웨이브 형상에 대한 영향을 고려하여 선택한다.

한편, 원형 코일은 형상으로 인한 제약 때문에 프레임 구조에 적용하기는 힘든 한계가 있었다. 이러한 한계를 극복하기 위해 1995년 A.A.Snaper의 미국특허 제 5,442,846호 이후 2003년 Kistersky의 특허 제 6,548,791호, 2005년 Cheng의 특허 제 0205553호

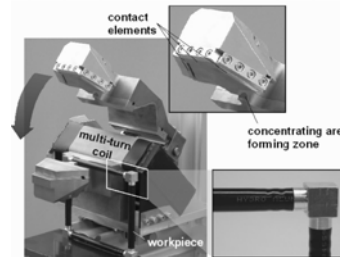
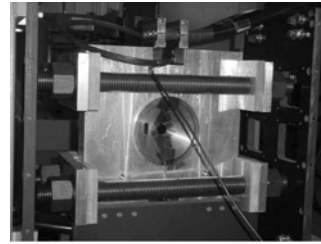


Fig. 4 Separable compression coil(closed frame structure)⁵⁻⁶⁾ (a) EWI Split coil (b) Poynting coil

'Coil design for Magnetic Pulse Welding & Forming' 등이 분리형 코일에 대한 제안을 하였고, 최근에 EWI⁵⁾, Poynting GmbH⁶⁾ 등에서는 Fig. 4에서와 같은 형태의 분리형 코일에 대한 시험 코일을 제작한 바 있다.

비록 분리형 코일이 접촉하는 인터페이스에서 고전류와 고전압의 하강 발생 및 인터페이스에서 발생하는 연속된 전류의 흐름을 방해하는 높은 반발력으로 인하여 야킹을 초래하기도 하지만, 분리형 코일을 이용하면 한정된 형태의 단품 제작에서 벗어날 수 있으며, 자전거나 자동차의 프레임 제작에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

근래에는 기존의 원형에만 국한되던 것을 판재의 겹치기 심용점에 적용하는 연구가 진행되고 있다.

이 기술은 일본 TMCT의 Aizawa 교수의 연구로부터 시작되어 연구그룹이 확대되고 있는 추세이다⁷⁻⁸⁾.

Fig. 5는 판재의 겹치기 심용점을 위해 제작된 평판 코일의 형상을 나타낸 것이다. 이 코일은 위-아래 H형상의 판재로 되어있고, 적절한 간격으로 겹쳐진 판재가 이 두 겹의 H형상 판재 사이에 삽입된다. 고전류가 코일을 통해 흘러 들어가면 겹쳐진 판재의 양쪽에서 전자기장이 형성되고, 판재 간 충돌에 의해 심용점부를 형성한다.

비록 현재까지는 전자기 코일의 길이 및 폭에 대한 한계가 있으나 코일 형상 및 재질을 개선한다면 응용범위가 넓어질 것으로 예상된다.

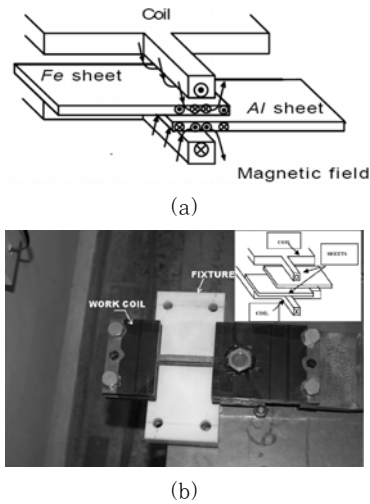


Fig. 5 Flat coil structure⁷⁻⁸⁾ (a) Double layer H-shaped flat coil (b) 3D flat rectangular coil

3. 맺 음 말

최근 경량합금의 사용이 증가되면서 다양한 조합의 이종금속에 대한 용접 필요성이 대두되고 있다. 이러한 관점에서 고상 용접 기술인 전자기 펄스 용접은 잘 활용한다면 생산성과 비용절감 차원에서 우수한 장점을 가진 용접 공정이라 할 수 있다.

전자기 펄스 용접 공정을 효과적으로 적용하기 위해서는 전자기 코일이 가공품의 재질과 형상에 적합하게 설계되어야 하며, 반복 신뢰성의 확보를 위해 여러 관련 분야 연구자들의 협력이 필요하다.

참 고 문 헌

1. 이형호, 제환영: 고전압 대전류 펄스파워기술의 현황과 전망, 대한전기학회지, **46-8** (1997), 53-58 (in Korean)
2. 이종수: 전자기성형법에 대하여, 대한기계학회지, **28-5**, (1988), 476-486 (in Korean)
3. G.W.Harvey, L.Jolla, D.F.Brower, US Patent 2,976,907, Metal forming device and method, (1961)
4. Y.Livshiz, O. Gafri: Technology and equipment for industrial use of pulse magnetic fields, 12th IEEE International pulsed power conference, Monterey, June 27-30, (1999), 475-478
5. Haiping Shao : Coil designs for magnetic pulse technologies, Magnetic pulse technologies workshop, EWI, Sep. 15, (2005)
6. Charlotte Beerwald : Current trends in EMF tools and process technology, Technical conf. magnetic pulse welding and forming, SLV Munich, July 3, (2008)
7. T.Aizawa, M.Kashani, K.Okagawa : Application of magnetic pulse welding for aluminum alloys and SPCC steel sheet joints, IIW 2005, Prague, July 10-15, (2005)
8. S.D.Kore, P.P.Date, S.V.Kulkarni : Effect of process parameters on electromagnetic impact welding of aluminum sheets, International J. of Impact engineering, **34** (2007), 1327-1341



- 김성욱
- 1973년생
- 포항산업과학연구원 용접센터
- 용접야금 및 이종금속용접/접합
- email : sungwook@rist.re.kr